

# Scientific Journal of Samarkand University

---

Volume 2019

Article 8

---

1-29-2020

## Attenuation of ultrasonic waves and acoustic gruneisen parameter in aluminum alloys

F. R. Axmedjanov

*Samarkand State University*, [akhmedzhanov.f@gmail.com](mailto:akhmedzhanov.f@gmail.com)

A. F. Boltabayev

*Institute of Nuclear Physics AN RU*


E. N. Kurtaliyev

*Samarkand State University*

J. T. Nazarov

*Navoi State Mining Institute*

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/samdu>

 Part of the [Physics Commons](#)

---

### Recommended Citation

Axmedjanov, F. R.; Boltabayev, A. F.; Kurtaliyev, E. N.; and Nazarov, J. T. (2020) "Attenuation of ultrasonic waves and acoustic gruneisen parameter in aluminum alloys," *Scientific Journal of Samarkand University*. Vol. 2019 , Article 8.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/samdu/vol2019/iss3/8>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific Journal of Samarkand University by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [sh.erkinov@edu.uz](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

УДК: 534.28

## ЗАТУХАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН И АКУСТИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТР ГРЮНАЙЗЕНА В АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ

Ф.Р. Ахмеджанов<sup>1,2</sup>, А.Ф. Болтабаев<sup>2</sup>, Э.Н. Курталиев<sup>1</sup>, Ж.Т. Назаров<sup>3</sup><sup>1</sup>Самаркандский государственный университет<sup>2</sup>Институт ядерной физики АН РУ<sup>3</sup>Навоийский государственный горный институт  
[akhmedzhanov.f@gmail.com](mailto:akhmedzhanov.f@gmail.com)

**Аннотация.** Исследовано затухание ультразвуковых волн и акустический параметр Грюнайзена в алюминиевых сплавах АМГ-2 и САВ-1, применяемых в качестве конструкционного материала в ядерных реакторах. Измерения коэффициента затухания акустических волн проводились эхо-импульсным методом на частотах 10 и 30 МГц, в диапазоне температур 290-580 К. Наблюдаемые максимумы коэффициента затухания объясняются различными релаксационными процессами.

**Ключевые слова:** акустическая волна, сплав, коэффициент затухания, эхо импульсный метод, время релаксации, механизмы затухания.

**Alyuminiy qotishmalarda ultra tovush to'liqlarning so'nishi va akustik gruneisen parametri**

**Annotatsiya.** Yadro reaktorlarda konstruksion material sifatida ishlatilayotgan AMG-2 va SAV-1 alyuminiy qotishmada bo'lama akustik to'liqlarning so'nishi tadqiqot qilingan. Akustik to'liqlarning so'nish koeffitsientini o'lchovlari 10 va 30 MGts chastotalarda hamda 290-580 K temperaturaviy diapazonida aks sado impuls metodi yordamida o'tkazilgan. Temperaturaviy boglanishda kuzatilayotgan so'nish koeffitsientining maksimumi turli relaksatsiya jarayonlari bilan tushuntiriladi.

**Tayanch so'zlar:** akustik to'liq, qotishma, so'nish koeffitsienti, aks sado impuls metodi, relaksatsiya vaqti, so'nish mexanizmlari.

**Attenuation of ultrasonic waves and acoustic gruneisen parameter in aluminum alloys**

**Abstract.** Attenuation of acoustics waves and Grüneisen parameter has been investigated in AMG-2 and SAV-1 aluminum alloys used as a construction material in nuclear reactors. The measurements of attenuation coefficient of longitudinal acoustics waves were carried out by the echo pulse method at frequencies 10 and 30 MHz and temperature range 290 – 580 K. The maximum observed in temperature dependence of attenuation coefficient is explained by different relaxation mechanisms

**Key words:** acoustic wave, alloy, attenuation coefficient, echo pulse method, relaxation time, attenuation mechanism.

**Введение.** В работе исследованы линейные и нелинейные упругие свойства алюминиевых сплавов САВ-1 и АМГ-2, которые относятся к группе сплавов тройной системы Al-Mg-Si и Al-Mn-Si. Фазовый состав таких сплавов зависит от соотношения концентраций в нем алюминия и легирующих элементов магния, марганца и кремния [1]. Из-за высокой теплопроводности и устойчивости к воздействию больших доз нейтронного излучения они используются в качестве конструкционного материала при изготовлении защитных оболочек тепловыделяющих элементов в активной зоне водоохлаждаемых ядерных реакторов типа ИРТ, ВВР-М, ВВР-Ц и др. [2]. Многие физические свойства сплавов исследованы в ряде работ [3,4], однако их акустические свойства мало изучены. В частности не исследованы нелинейные характеристики, такие как коэффициент Грюнайзена и упругие постоянные третьего порядка. В настоящей работе на основе определения линейных свойств (упругие постоянные второго порядка) этих сплавов рассчитаны нелинейные характеристики – коэффициент Грюнайзена и коэффициенты затухания ультразвуковых волн в диапазоне 10-50 МГц.

**Методика эксперимента**

Исследованные образцы поликристаллических сплавов АМГ-2 и САВ-1 приготавливались в виде цилиндров диаметром ~1 см и высотой ~2 см. Противоположные торцы образцов, служащие акустическими зеркалами, обрабатывались с помощью механической шлифовки и полировки по 14 классу точности. Плотность сплава определялась по измерениям массы и объема образцов с погрешностью 0,1% и оказалась равной для сплавов АМГ-2 и САВ-1, соответственно, 2.68 и 2.69 г/см<sup>3</sup>.

Элементный состав сплавов определялся рентгеновским микроанализатором «Jeol» JSM 5910 IV [4]. Согласно анализу массовая доля основных легирующих элементов Mg, Si и Mn в образцах АМГ-2 и САВ-1 составляла примерно от 0.07 до 2.1%. При этом наибольшая доля магния была в образцах АМГ-2 (2.1%), а кремния в образцах САВ-1 (0.7%)

Измерения скорости распространения и коэффициента затухания ультразвуковых волн производились с помощью ультразвуковой установки на частотах 10 и 30 МГц. Продольные и

поперечные ультразвуковые волны возбуждались пьезоэлектрическими преобразователями из кварца X- или Y- среза, соответственно, с резонансной частотой  $\sim 10$  МГц. Для склейки пьезопластин к образцам использовался эпоксидный клей. Скорость ультразвуковых волн определялась фазово-импульсным методом Лэмба [5, 6], который был модифицирован так, что позволял с высокой точностью одновременно определять скорость (0,01%) и коэффициент затухания ультразвуковых волн (5%). Генератор высокочастотных импульсов, подаваемых на пьезопреобразователь, запускается от генератора низкочастотных электромагнитных колебаний. За счет изменения периода низкочастотных колебаний наблюдалось несколько максимумов и минимумов амплитуды отраженных акустических импульсов.

Регистрируя с помощью цифрового частотомера последовательные значения частоты, при которых амплитуда результирующего импульса проходит через минимумы, можно определить скорость акустической волны из соотношения [5]:

$$V = 2L \cdot \Delta\nu, \quad (1)$$

где  $L$  – длина образца,  $\Delta\nu$  – разность двух соседних частот высокочастотного генератора, соответствующих противофазной интерференции.

Коэффициент затухания продольных акустических волн  $\alpha$  определялся по амплитудам соседних импульсов  $A_1$  и  $A_2$  в серии затухающих импульсов из соотношения:

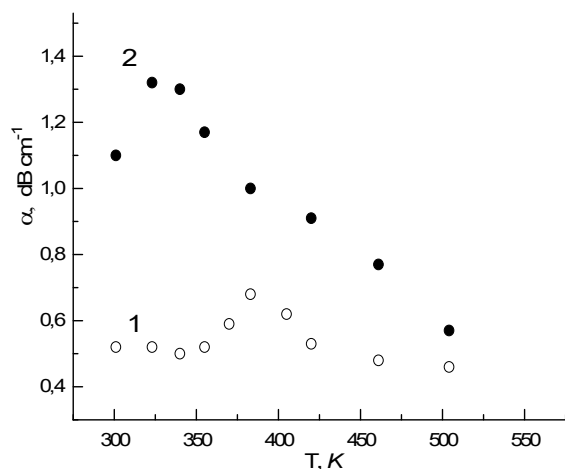
$$\alpha = \frac{20 \lg(A_1/A_2)}{2L}, \quad (2)$$

где  $L$  – длина образца.

Температурная зависимость коэффициента затухания волн исследовалась в диапазоне 290 – 590 К с помощью печи электросопротивления, в которой размещалась измерительная ячейка с образцом. Температура в печи поднималась со скоростью 0.2 К/мин и контролировалась хромель-алюмелевой термопарой с точностью  $\pm 0.1$  К.

### Результаты эксперимента и их обсуждение

На рис. 1 представлены результаты эксперимента для сплава АМГ-2. Видно, что в температурной зависимости акустического затухания на обеих частотах наблюдается максимум при температурах 323 и 383 К.



**Рис 1.** Температурная зависимость затухания продольных акустических волн с частотой 30 МГц (1) и 10 МГц (2) в сплаве АМГ-2.

Результаты эксперимента использовались для расчета упругих постоянных исследованных алюминиевых сплавов и на их основе были определены акустический параметр Грюнайзена и коэффициент Пуассона. Параметр Грюнайзена  $\gamma$  определялся из значений скоростей продольных ( $V_L$ ) и поперечных ( $V_S$ ) акустических волн из соотношения [7]:

$$\gamma = \frac{9(V_L^2 - 4V_S^2/3)}{2(V_L^2 + 2V_S^2)}, \quad (3)$$

Определяемый по (3) параметр Грюнайзена принято называть акустическим.

Исследованные алюминиевые сплавы САВ-1 и АМГ-2 имеют кубическую симметрию и относятся к твердым растворам внедрения [4]. В таком, свободном от напряжений, твердом растворе распределение растворенных атомов изотропно относительно каждого атома основной решетки. Это

означает, что ближайший растворенный атом имеет одинаковую вероятность располагаться вдоль любого возможного кристаллографического направления.

В гранецентрированной кубической решетке атомы внедрения большей частью находятся не в местах с наибольшим свободным объемом, а в середине ребер или центре ячейки. Расположенные в таких местах внедренные атомы деформируют решетку, создавая искажения, обладающие тетрагональной симметрией. Максимальные искажения получаются в направлении между двумя ближайшими атомами растворителя, т. е. по одной из главных осей типа  $\langle 1, 0, 0 \rangle$ .

В отсутствие напряжений все три вида позиций внедрения замещены беспорядочно, поэтому на каждый тип позиций внедрений приходится 1/3 общего числа внедренных атомов. При распространении упругой волны в таком твердом растворе изотропное распределение атомов нарушается; равновесным распределением теперь будет такое, в котором большее число растворенных атомов находится в позициях с тетрагональной осью, вдоль которой волной создается упругая деформация.

Таким образом, наблюдаемые максимумы затухания акустических волн могут быть обусловлены тем, что деформация, создаваемая акустической волной, нарушает равновесное распределение растворенных атомов относительно атомов основной решетки. За счет перемещения и переориентации внедренных атомов осуществляется переход в новое равновесное состояние, характеризуемый временем релаксации  $\tau$ , и для ультразвуковых волн будет наблюдаться релаксационный пик поглощения с максимумом, отвечающим условию [6]:

$$\nu = \nu_0 e^{-U/kT} \quad (4)$$

где  $\nu_0$  — частота колебаний внедренного атома в позиции внедрения,  $U$  — энергия активации движения примесных атомов,  $k$  — коэффициент Больцмана. Величина энергии активации определяется типом и позицией внедренных атомов и природой атомов растворителя [8,9]. Энергия активации, определенная по частотному смещению, релаксационных пиков в сплаве АМГ-2, оказалась равной 0,26 эВ. Эта энергия активации связана, по-видимому, с движением ионов магния в решетке сплава,

Другим возможным механизмом затухания акустических волн, является механизм Ахизера, который обусловлен взаимодействием акустической волны с тепловыми фононами [6, 10]. Акустическая волна нарушает равновесное распределение тепловых фононов, происходит перераспределение энергии между фононами, что приводит к необратимому процессу диссипации энергии. Этот механизм также имеет релаксационный характер, в котором роль времени релаксации играет время свободного пробега фонона, определяемое из выражения [8].

$$\tau_\phi = \frac{3\kappa}{C_V V_{cp}^2}, \quad (5)$$

где  $\kappa$  — коэффициент теплопроводности,  $C_V$  — теплоемкость единицы объема,  $V_{cp}$  — средняя скорость звука в дебаевском приближении. Для оценки величины затухания по этому механизму мы воспользовались формулой Мэзона [6]:

$$\alpha = \frac{3 \cdot 8.68 \gamma^2 \kappa T \Omega^2}{2 \rho V^2 \cdot V_{cp}^2}, \quad (6)$$

где  $\rho$  — плотность,  $V$  и  $\Omega$  — скорость и частота акустической волны, соответственно,

Полученные расчетные значения акустического параметра Грюнайзена, упругие модули второго порядка и литературные данные по теплопроводности [4] использовались для расчета затухания в исследованных сплавах. Расчет по формулам (3), (5) и (6) показал, что в исследованных сплавах затухание акустических волн по механизму Ахизера на порядок меньше наблюдаемых значений затухания. Кроме того на низких частотах велик вклад кажущегося затухания, обусловленного расходимостью акустического пучка, что и объясняет большую величину затухания на 10 МГц, по сравнению с затуханием на 30 МГц. В металлах также может иметь место механизм затухания акустических волн, связанный с взаимодействием акустической волны с электронами проводимости — акустоэлектронное взаимодействие. Согласно [6] этот механизм проявляется при температурах ниже ~10 К и при высоких температурах им можно пренебречь.

Таким образом, можно сделать вывод, что температурная зависимость коэффициента затухания в сплаве САВ-1 обусловлена релаксационными процессами при внутреннем трении и наблюдаемые два максимума затухания связаны с отличием времен релаксации, описывающих переход атомов основных легирующих элементов магния и кремния в новое равновесное состояние под действием акустической волны.

Для разделения вкладов отдельных механизмов затухания необходимо провести исследования температурной зависимости затухания акустических волн на более высоких частотах, на которых вклад

механизма Ахиезера в величину затухания может стать определяющим [10]. Отметим также, что рассмотренный подход позволяет определять температурную зависимость параметра Грюнайзена и соответственно прогнозировать зависимость коэффициента акустического затухания от температуры.

### References

1. Alyuminiyevie splavi (svoystva, obrabotka, primeneniye). Spravochnik pod red. X. Nilsena. –M.: Metallurgiya. –1979. –679 s.
2. O.P. Maksimkin, A.V. Yarovchuk, D.S. Aulova, L.G. Turubarova, S.V. Karbisheva Korroziynaya stoykost alyuminiyevogo splava SAV-1 posle ekspluatatsii v aktivnoy zone reaktora VVR-K i xraneniya v vodnom basseyne. Voprosi atomnoy nauki i texniki. –2010. №5. –s.78-83.
3. V.M.Lebedev, V.T.Lebedev, S.P.Orlov, B.Z.Margolin, A.M. Morozov. Issledovaniye nanorazmernoy strukturi splava SAV-1, obluchennogo bistrimi neytronami do vysokix flyuyensov, metodom malouglovogo rasseyaniya neytronov. Fizika tverdogo tela. –2014. T. 56, №1. –s.160-164.
4. Sh. A. Alikulov, F. R. Akhmedzhanov, S. A. Baitelesov, A. F. Boltabaev, F. R. Kungurov
5. E. T. Rakhimov, U. S. Salikhbaev. High temperature electric and thermal conductivity of the Aluminum Alloys SAV-1 and AMG-2. AtomicEnergy. 2015. V. 117 (5)p.334-339.
6. R.Truell, Ch.Elbaum, B.Chik. Ultrazvukovie metodi v fizike tverdogo tela. 1972. –M.: Mir, – 307 s.
7. U. Mezon. Fizicheskaya akustika. T.3. chast B. Dinamika reshetki. M.:Mir. 1968. – 392 s.
8. V.N. Belomestnix Akusticheskiy parametr Gryunayzena tverdix tel. Pisma v JTF. 2004. T. 30, №3, –s.14-19.
9. A.Novik, B.Beri. Relaksatsionnie yavleniya v kristallax. –M:Atomizdat. –1975. –472s.
10. V.S. Postnikov. Temperaturnaya zavisimost vnutrennego treniya chistix metallov i splavov. Uspexi fizicheskix nauk. 1958. T.66, №1. –s.43-77.
11. B.I. Kapranov, M.M Korotkov. Akusticheskiye metodi kontrolya i diagnostiki. Tomsk: TPU. – 2008. –186 s.